

文章编号: 1000-5277(2015) 06-0085-05

九龙江流域湖库化河段水环境容量研究

张玉珍^{1,2}, 曹文志³, 陈 锦^{1,2}, 李 颖³, 王智苑^{1,2}, 黄文丹^{1,2}

- (1. 福建省环境科学研究院, 福建 福州 350013;
2. 福建省环境工程重点实验室, 福建 福州 350013;
3. 厦门大学环境与生态学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 针对九龙江流域湖库化问题, 确定湖库化河段判定标准, 提出综合电站的概念, 基于大量的实测数据进行水质模型的降解系数值 K 参数率定, 以此为基础, 提出湖库化河段水环境容量计算方法, 对九龙江流域湖库化后的水环境容量核算开展研究, 确定了流域河流湖库化对水环境容量计算的影响, 湖库化河段的水环境容量, 为流域的水环境容量总量控制和管理、决策提供科学的依据。

关键词: 九龙江; 湖库化; 水环境容量

中图分类号: X26 **文献标志码:** A

Study on Water Environmental Capacity of Reservoired
River in Jiulong River BasinZHANG Yu-zhen^{1,2}, CAO Wen-zhi³, CHEN Jin^{1,2}, LI Ying³,
WANG Zhi-yuan^{1,2}, HUANG Wen-dan^{1,2}

- (1. Fujian Provincial Academy of Environmental Science, Fuzhou 350013, China;
2. Fujian Key Laboratory of Environmental Engineering, Fuzhou 350013, China;
3. College of Environmental and Ecological Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: According to the problem of reservoired in Jiulong River basin, the judgment standard of reservoired river was determined, and the concept of integrate hydropower station was presented. Then, the parameter value of degradation coefficient K was calibrated with water quality model based on a large number of measured data of water quality. On this basis, calculation method of water environmental capacity for reservoired river was proposed. Finally, research was carried on water environmental capacity accounting of reservoired river in Jiulong River basin. The results show the effect of reservoired on water environmental capacity calculation, and the water environmental capacity of reservoired river, which provided scientific basis for the total emission control, management and decision-making of water environmental capacity in Jiulong River basin.

Key words: Jiulong River; reservoired; water environmental capacity

九龙江是福建省境内第二大河流, 位于福建省的西南部, 流域面积 14 241 km², 平均水资源总量为 121 亿 m³, 是厦门市、漳州市、龙岩市的主要水源地, 涉及近 1 200 万人饮用水源安全, 其中厦门市 80% 以上的饮用水来自九龙江. 九龙江流域水力资源较丰富, 水电开发速度迅猛, 仅在九龙江流域的梯级水电站共有几百座, 且大多都为径流式中小型电站. 流域密集的水电站群大大改变了河流的水动力等条件, 在丰水期和平水期, 河流流量比较大, 能形成径流, 具有河流性质, 但是在枯水期,

收稿日期: 2015-01-04

基金项目: 福建省环保资助项目 (ZLT0903); 福建省科技重大专项 (2013YZ001-1)

通信作者: 张玉珍 (1964-), 女, 教授级高工, 博士, 主要从事水污染控制研究工作. zyz9893@163.com

一些河段由于水电站的作用,在水电站大坝上游拦蓄一定水量,而各水电站大坝的下游形不成径流,水面基本处于静止状态,使其又具有河道型水库的性质,枯水期的九龙江可概化为由多个电站以上水库组成,九龙江的水流特性具有河流和河道型水库的双重性质,使得河流湖库化凸显,与之相应的水环境容量也发生相应变化,而大量营养物质的排放导致流域水体富营养化趋势明显,致使在 2009 年九龙江爆发甲藻水华以来,多个水源地受到甲藻“水华”和水质污染的威胁,成为流域主要的生态环境问题^[1].

水环境容量是流域水体富营养化污染防治的重要依据.因此,有必要根据九龙江特殊的水流特性和多年来水质监测结果,依据湖库化河段判定标准,选择反映水质有机污染的指标 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 作为水环境容量计算的主要参数,采用一般河流水环境容量计算方法^[2]和水库水环境容量计算方法^[3],确定其湖库化后河段的水环境容量,为九龙江流域的总量控制和管理、决策提供科学的依据.

1 库区型计算单元确定

1.1 湖库化河段判定标准确定

全面收集和调研九龙江流域水电站位置、库容、装机容量、水力停留时间、最小下泄流量等数据基础上建立了湖库化河流判定标准,有效的区分了湖库化河段和普通河段.

(1) 单个电站(库区)湖库化河段判定标准:结合流域最小水电站水华爆发现状,确定了水力停留时间 7 d 以上库区和装机容量大于 9 000 kW 且总库容大于 1 000 万 m^3 的电站库区作为湖库化类型.

(2) 综合电站湖库化河段判定标准:考虑流域内部分支流小电站分布密集且呈现“葡萄串”,在枯水季节影响了河道正常的水文动力条件,以爆发水华河段各电站的平均距离作为参考依据,再考虑全流域各支流水电站的整体分布情况及其所在河段的水质状况及藻类分布情况,确定当河流沿程相邻电站平均距离小于等于 3.7 km 时,将该河流沿程的水电站作为整体,以“库区型综合电站”考虑,既综合电站是无法分开的多个梯级开发的水电站串联而成.

本文仅对湖库化河段进行水环境容量计算,按河流型计算的河段不在计算范围内.

1.2 库区型计算单元划分

计算单元的划分是水环境容量计算的关键步骤之一,也是重点考虑的内容^[4],考虑流域内主要水电站(大中型水库)的空间分布,结合流域特点,通过增加节点区分水电站引起的流量和流速的变化,区分湖库化河段(包含综合电站库区段).

对于河段上的水电站库区,无论电站大小,先逐一按判别标准进行判断,确定电站所在河段是否湖库化.符合标准情况下,对于库容达到一定规模的大中型水电站(大中型水库),将其库尾至坝址段划分为独立的库区计算单元;对一级支流上短距离内呈现密集梯级开发的水电站库区河段,并且属同一个水环境功能区,该库区型河段从第一个水电站库尾至最后一个水电站坝址作为一个独立的库区型综合电站的计算单元.

经筛选,流域范围内符合综合电站湖库化河段判定标准的综合电站共计 3 处,其所包含的电站名称及总库容见表 1.综合电站 1 位于新桥溪,共计 10 个电站,平均电站距离 3.5 km;综合电站 2 位于龙山溪,共计 15 个电站,平均电站距离 3.7 km;综合电站 3 位于永丰溪,共计 6 个电站,平均电站距离 1.6 km.

对于综合电站,在水环境容量求算的过程中,同时按照河道型和库区型进行求算,对比选择合适的类型值,最终套用的计算类型见表 2 所示.

在包括综合电站的情况下,最终确定库区型计算单元共计 18 个(见表 3).

表 1 九龙江流域综合电站明细表

Tab. 1 List of integrate hydropower station in Jiulong River basin

综合电站 1	总库容/(×10 ⁴ m ³)	综合电站 2	总库容/(×10 ⁴ m ³)	综合电站 3	总库容/(×10 ⁴ m ³)
桃城电站	—	林溪电站	2	地园电站	—
下拱桥电站	—	溪坂电站	6	金裕电站	—
产坑电站	—	柳斜(畚) 电站	8	横山电站	394
兴华电站	—	海河电站	—	西山电站	—
下溪坂电站	—	鸿明电站	350	泮鑫电站	—
城门电站	—	后眷一级	—	源丰电站	—
车碑电站	8	后眷二级	—		
仁坂电站	68	溪州电站	—		
漳河电站	—	龙吐珠电站	—		
割坂电站	133	马公港口电站	5		
		金山桥电站	—		
		涌北电站	—		
		鸿运电站	100		
		锦山电站	100		
		国绿一级	120		

表 2 九龙江流域综合电站最终套用计算类型

Tab. 2 Final apply computing type of integrate hydropower station in Jiulong River basin

梯级开发电站	最终套用计算类型
综合电站 1	河道型(河流一维容量模型)
综合电站 2	库区型(湖泊、水库容量模型)
综合电站 3	河道型(河流一维容量模型型)

表 3 九龙江流域各水电站库区及其最小下泄流量

Tab. 3 Hydropower station reservoir areas and theirs minimum discharging downstream flow in Jiulong River basin

编号	水库电站	所在河段	总库容/(10 ⁴ m ³)	最小下泄流量/(m ³ · s ⁻¹)	死库容 V/(10 ⁴ m ³)
1	万安水库	万安溪	22 890	6. 6	6 409
2	白沙水库	万安溪	19 926	13. 0	8 443
3	合溪电站	北溪干流	260	29. 2	73
4	综合电站 1	新桥溪	70	3. 0	15
5	佳能电站	新桥溪	395	4. 9	111
6	石狮坂电站	双洋溪	160	2. 8	45
7	溪仔口电站	北溪干流	2 029	30. 3	232
8	华口电站	北溪干流	5 862	31. 1	613
9	小杞电站	北溪干流	1 930	34	555
10	西陂电站	北溪干流	1 274	37. 8	674
11	绵良电站	北溪干流	1 710	38. 5	788
12	华安电站	北溪干流	1 000	39. 1	130
13	天宫电站	北溪干流	2 117	43. 5	408
14	利水电站	北溪干流	2 302	45. 1	371
15	南一水库电站	船场溪	15 800	3. 7	4 424
16	综合电站 2	龙山溪	86	7. 1	19
17	罗必坑电站	永丰溪	1 947	0. 17	432
18	综合电站 3	永丰溪	2 247	0. 21	499

2 参数的确定

2.1 流量的确定

计算水电站库区水环境单元时，最枯月流量数据采用闽经贸能源〔2009〕664 号文件《关于印发

福建省水电站下泄流量在线监控装置安装工作方案的函》中对电站最小下泄流量的规定值. 综合电站 1、2、3 最枯月流量数据取综合电站最上游与最下游两个电站的规定最小下泄流量的平均值, 具体见表 3.

2.2 计算水环境容量库区库容确定

根据福建省经济贸易委员会等提供的水库、水电站相关数据, 选择水库死库容计算方法. 其中, 计算综合电站的库容, 采用平均库容方法, 即先利用各水库的总库容求出综合电站的平均库容, 再选择死库容 = 平均总库容 \times ((死库容/总库容) 均值) 方法计算死库, 具体见表 3.

2.3 湖库化河段水质降解系数 K 值的确定

九龙江流域北溪江东桥库区基本处于静水状态, 采样断面设置在江东桥库区, 九龙江库区水体降解系数参考这个监测断面取值. 选用实测资料反推法, 通过野外实验和室内模拟实验两种方法相结合的方式, 计算 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 综合降解系数, 并利用计算机对数据进行拟合, 得到水样中 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 降解系数 (见表 4). 在此基础上, 参考有关文献, 与其他地方相似水体综合比较, 确定九龙江流域库区水体降解系数推荐值 K_{COD} 为 0.06 d^{-1} 、 $K_{\text{NH}_3\text{-N}}$ 为 0.04 d^{-1} .

表 4 高锰酸盐降解系数 (K_{COD})、氨氮降解系数 ($K_{\text{NH}_3\text{-N}}$)

Tab. 4 The degradation coefficient of permanganate (K_{COD}) and ammonia nitrogen ($K_{\text{NH}_3\text{-N}}$)

样品编号	$K_{\text{NH}_3\text{-N}}/\text{d}^{-1}$		$K_{\text{COD}}/\text{d}^{-1}$	
	野外实验法	实验室培养法	野外实验法	实验室培养法
江东 2-1	0.030	0.039	0.151	0.100
江东 2-2	0.035	0.042	0.079	0.099
江东 2-3	0.030	0.034	0.131	0.109
江东 2-4	0.038	0.040	0.090	0.093

3 环境容量计算

3.1 环境容量模型的选取

在计算单元细划分的基础上, 选择相应合适的水环境容量测算数学模型 (河流容量模型、湖库容量模型) 对流域不同河段类型测算库区计算单元的环境容量^[5].

湖库化河段环境容量测算: 对单一电站 (库区) 湖库化河段, 水库以及水电站的库区的水环境容量是采用湖库零维的充分混合模型进行计算水体中 COD 和 NH_3 的环境容量.

对综合电站湖库化河段, 考虑综合电站是由一系列连续的梯级开发的水电站组成的, 从保守考虑, 综合电站的死库容取各电站死库容的平均值, 计算得到的水环境容量即可为综合电站的水环境容量.

利用上述平均库容的方法得到的综合电站水环境容量, 仍然不一定是综合电站的最后水环境容量. 这时, 还用一维河道模型进行综合电站段的水环境容量计算, 并把该计算结果与平均库容的方法得到的综合电站水环境容量进行对比, 根据保守原则, 最终的综合电站的水环境容量选取两者的较小值.

3.2 计算单元理想水环境容量

综合电站 1-3 在容量的求算过程中作为河道型和库区型均给予计算, 基于保守考虑, 最终选择容量较小的作为环境容量推荐值.

对综合电站首先分别进行库区零维充分混合模型以及一维河道型模型的运算, 然后, 对比综合电站 1-3 的河道型和库区型环境容量计算结果, 取河道型和库区型计算结果的最小值. 最终结果为综合电站 1、3 取河道型计算结果, 综合电站 2 取库区型计算结果. 同时考虑新桥溪未来可能在枯水期不再蓄水发电, 为保证九龙江水质, 综合电站 1 的水环境容量计算也应按河道型计算考虑为宜, 该计算方法选择与实际情况较为相符. 库区型计算单元 COD_{Cr} 和氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 的理想环境容量测算结果见表 5.

表5 九龙江流域库区型计算单元理想水环境容量测算结果

Tab. 5 Results of ideal water environment capacity of reservoir type computing unit in Jiulong River basin

编号	水库/电站	溪流	乡镇名称	行政区	河长/km	环境容量 (t·a ⁻¹)	
						COD _{Cr}	NH ₃ -N
1	万安水库	万安溪	万安	龙岩市新罗区	—	23 581	585
2	白沙水库	万安溪	白沙	龙岩市新罗区	7.6	31 063	770
3	合溪电站	九龙江北溪干流	苏坂	龙岩市新罗区	3.6	268	7
4	综合电站 1	新桥溪	新桥	龙岩市漳平市	34.6	1 552	43
5	佳能电站	新桥溪	西元	龙岩市漳平市	8.3	407	10
6	石狮坂电站	双洋溪	南洋	龙岩市漳平市	3.2	165	4
7	溪仔口电站	九龙江北溪干流	西元	龙岩市漳平市	2.8	852	21
8	华口电站	九龙江北溪干流	芦芝	龙岩市漳平市	1.4	2 256	56
9	小杞电站	九龙江北溪干流	芦芝	龙岩市漳平市	3.9	2 042	51
10	西陂电站	九龙江北溪干流	湖林	漳州市华安县	5.7	2 480	62
11	绵良电站	九龙江北溪干流	华丰	漳州市华安县	5.4	1 933	36
12	华安电站	九龙江北溪干流	新于	漳州市华安县	6.1	478	12
13	天宫电站	九龙江北溪干流	新于	漳州市华安县	6.2	1 501	37
14	利水电站	九龙江北溪干流	沙建	漳州市华安县	8.4	909	17
15	南一水库 电站	船场溪	奎洋	漳州市南靖县	11.0	10 851	202
16	综合电站 2	龙山溪	和溪 金山 龙文 丰田	漳州市南靖县	55.3	71	2
17	罗必坑电站	永丰溪	高安	漳州市华安县	15.1	1 589	39
18	综合电站 3	综合电站 3	龙山 丰田	漳州市南靖县	11.2	161	5

4 结果和讨论

研究表明白沙水库 COD_{Cr} 和 NH₃-N 理想水环境容量最大, 分别为 3.11×10^4 , $770.4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$; 万安水库仅次于白沙水库, COD_{Cr} 理想容量为 $2.3 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 氨氮为 $585 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. 考虑到万安水库位于万安溪上游段, 其所在区域人口相对较少, 基于保护源头溪流生态环境的原则, 该库区水环境容量的可利用性不高. 另外, 南一水库的 COD_{Cr} 理想水环境容量也较大, 为 $1.09 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. 合溪电站、综合电站 1、佳能电站、石狮坂电站、溪仔口电站和华安电站 COD_{Cr} 理想水环境容量较小, 在 $56 \sim 852 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间, 其余电站 COD_{Cr} 在 $1\ 200 \sim 2\ 500 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. 合溪电站、综合电站 2-3 及石狮坂电站的氨氮理想环境容量均小于 $10 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$.

针对九龙江流域内电站密集开发改变河流水动力条件导致常规水环境容量计算方法不适用的问题, 研究选择相应的模型, 从河流湖库化角度计算九龙江流域的水环境容量, 这些模型在一定范围和程度上与实际的河流边界物理状况和水流流态接近, 从数据上和方法上解决了流域功能区不符合常规水环境容量的计算方法问题.

参考文献:

- [1] 高洪生. 湖库化河流水体富营养化研究——以九龙江北溪为例 [D]. 福州: 福建师范大学, 2011.
- [2] 周孝德, 郭瑾珑, 程文, 等. 水环境容量计算方法研究 [J]. 西安理工大学学报, 1999, 15 (3): 1-6.
- [3] 赵淑梅, 郑西来, 李玲玲, 等. 青岛小珠山水库水环境容量研究 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2006, 36 (6): 971-974.
- [4] 王卫平. 九龙江流域水环境容量变化模拟及污染物总量控制措施研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2007.
- [5] 葛淑芳. 辽河吉林省段水环境容量研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2012.

(责任编辑: 黄家瑜)